

桂西北喀斯特人为干扰区植被自然 恢复 22 年后群落特征

曾馥平^{1,3}, 彭晚霞^{1,2,3}, 宋同清^{1,3}, 王克林^{1,3}, 吴海勇^{1,4}, 宋希娟^{1,5}, 曾昭霞^{1,3}

(1. 中国科学院亚热带农业生态研究所, 长沙 410125; 2. 湖南农业大学生物科学技术学院, 长沙 410128;

3. 中国科学院环江喀斯特农业生态系统研究观测站, 环江 547200; 4. 南京农业大学茶学研究所, 南京 210095;

5. 甘肃农业大学草业学院, 兰州 730070)

摘要:采用全面调查和样方调查的方法,以坡面为尺度,以顶极群落为对照,运用干扰理论和多样性分析方法,研究了桂西北喀斯特 4 类典型干扰区自然恢复 22a 之后植被特征及空间分布的变化。结果表明,干扰区的物种多样性丧失严重,共出现维管束植物 91 科 206 属 241 种,仅有自然保护区的 26.6%,6 种植被类型的顺向演替系列为石漠化稀疏草丛→草丛→灌丛→藤刺灌丛→落叶阔叶林→常绿落叶阔叶混交林片段。随着坡位的上升,群落的高度、盖度、生物量和物种多样性急剧下降,密度则呈少、多、次少的单峰分布状态,各项指标均远低于自然保护区。不同干扰方式对植被自然恢复的影响不同,其中整坡火烧+垦殖的破坏性最大,呈现了石漠化景观,整坡火烧+放牧次之,采樵属选择性干扰,采樵+放牧+坡脚火烧的恢复相对较快,没有放牧干扰的采樵+坡脚火烧恢复更好。此外还针对性地提出了桂西北喀斯特干扰区在不同立地类型上人工与自然相结合的 4 条植被恢复途径。对因各种人为干扰导致的桂西北喀斯特生态系统处于极度退化状态下的植被恢复建设和生态重建具有重要的理论价值和实际意义。

关键词:人为干扰;自然恢复;植被特征;群落演替;桂西北喀斯特

文章编号:1000-0933(2007)12-5110-10 中图分类号:Q948 文献标识码:A

Changes in vegetation after 22 years' natural restoration in the karst disturbed area in Northwest Guangxi

ZENG Fu-Ping^{1,3}, PENG Wan-Xia^{1,2,3}, SONG Tong-Qing^{1,3}, WANG Ke-Lin^{1,3}, WU Hai-Yong^{1,4}, SONG Xi-Juan^{1,5}, ZENG Zhao-Xia^{1,3}

1 Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China

2 College of Bioscience and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China

3 Station of Karst Ecology in Huanjiang, Institute of Subtropical Agriculture, CAS, Huanjiang 547200, China

4 Tea Institute, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

5 Pratacultural College, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(12): 5110 ~ 5119.

Abstract: Disturbance of ecosystem is ubiquitous in the world, which would primarily affect plant communities. The

基金项目:中国科学院西部行动计划资助项目(KZCX2-XB2-08-02);国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2006CB403208);国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2006BAC01A10)

收稿日期:2007-06-08; **修订日期:**2007-09-18

作者简介:曾馥平(1964~),男,湖北天门人,研究员,主要从事生态学研究. E-mail: fpzeng@isa.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by West Project of Chinese Academy of Sciences (No. KZCX2-XB2-08-02), the Project of the National Key Basic Research and Development Plan 973 (No. 2006CB403208), and the National Eleventh Five-year Plan of Science and Technology Supporting (No. 2006BAC01A10)

Received date: 2007-06-08; **Accepted date:** 2007-09-18

Biography: ZENG Fu-Ping, Professor, mainly engaged in ecology. E-mail: fpzeng@isa.ac.cn

variations of plant vegetation and spatial distribution were investigated in the areas of four typical disturbances, which had been under natural restoration for 22 years in the karst area in the northwest of Guangxi while the climax plant community was utilized as control. The slope scale and disturbance theory was used to study plant diversity in whole area and selected plots. It is clear that the disturbances had resulted in severe loss of plant species, only 241 species of vascular plant that belong to 91 families and 206 genera survived in the disturbed areas, it was only 26.6% of that in natural conservation area. The consequent succession of plant vegetation types were sparse grass of rocky desertification, grass, shrub, liana-shrub, deciduous broad-leaved forest, and mixed segment of evergreen and deciduous broad-leaved forest. The height, coverage, biomass and species diversity of plants decreased sharply with slope elevating and the plant density appeared with normal distribution. Compared with the natural conservation area all criteria of plant vegetation in disturbed areas were much worse. Furthermore, different types of disturbances showed various affections on natural vegetative restoration, among them, tillage after whole slope burned caused the worst impact where rocky desertification was the consequence, followed by depasturing after whole slope burned. While cutting was selective disturbance, the vegetative restoration in the area with combination of cutting, depasturing and slope foot burning was relatively fast, however, it was even better in the area with combination of cutting and slope foot burning. Based on our studies, four strategies for vegetative recovery considering both natural and artificial approaches were established, which were suitable for the karst area in the northwest of Guangxi.

Key Words: disturbance; natural vegetation; vegetation characteristics; community succession; Karst area

干扰是自然界普遍存在的现象^[1],生态系统的重要组成部分——植物群落首先受到影响。干扰通过改变植物群落内的环境条件、物种组成和多样性等,改变植物群落的结构和功能,进而影响其演替进程甚至演替方向,造成利弊两种截然相反的结果^[2]。喀斯特地区受地球内动力^[3]、强烈的地质运动^[4]、高温多雨且分布不均^[5]、碳酸盐岩溶蚀性强^[6]、水文二维结构明显^[7]以及其适生植物具有嗜钙性、耐旱性和石生性等限制特点的综合影响,生态系统的稳定性和抗干扰性差,是我国六大典型脆弱生态系统之一^[8],在人为干扰下极易退化。20 世纪 40~80 年代中期,该区人口飞速增长,激化了系统的人地矛盾,为生存起见,人类通过砍伐、垦殖、采樵、采矿、放牧、旅游开发、工程建设等各种方式对本来脆弱的喀斯特生态环境进行不断的干扰和破坏,导致了该区域森林生态系统的严重退化和生物多样性的严重丧失,除人力难以达到的喀斯特顶峰悬崖峭壁等危险地带及少量的森林自然保护区外,其它地方的森林基本上已退化成灌丛和草坡,生境质量严重下降,部分地段完全石漠化^[9,10],人为干扰造成的这种后果的内因是喀斯特生态系统的天生脆弱性,诱因则是植被减少,驱动力是人为干扰^[11]。1985 年之后,随着该区经济的迅猛发展,能源问题的合理解决(用电量和沼气池等的增加),各种森林保护政策的相继出台和全面实施,退耕还草、退耕还林的面积不断增大,森林覆盖度和物种多样性迅速增加,不过除少数地方在经济条件的许可下实施了部分人工恢复措施之外,大部分处于自然恢复状态,形成顶极群落少则几十年,多则数百年甚至上千年,进度非常慢。有关方面的研究也主要集中在茂兰等少数自然保护区和以此为基础的植物群落不同演替阶段^[12~14],而广大的干扰区植被的恢复性研究已经滞后,报道甚少,严重影响了喀斯特地区的生态重建过程。本文利用干扰理论和生态系统的有关原理,以坡面为尺度,通过对桂西北喀斯特干扰区植被的典型样方调查,分析了干扰区自然恢复 22a 后植被的现状,探讨了该区 4 种主要的干扰方式采樵(含砍伐)、火烧、放牧和垦殖对植被群落组成、类型、结构、生物量、物种多样性等方面的影响及其随环境梯度的变化规律,提出了极度退化的桂西北喀斯特干扰区不同立地类型和不同群落演替阶段人与自然相结合的 4 条植被恢复途径,旨在为植物多样性研究提供典型案例,为该区植被的自然恢复和通过人为干扰加速其向地带性顶极群落演替、全面促进喀斯特地区植被建设、生态恢复重建和可持续性发展提供重要的理论依据和实际指导作用。

1 研究区概况

研究区位于桂西北中国科学院环江喀斯特农业生态系统研究观测站。地理位置为 108°18′56.9″~

108°19′58.4″E, 24°43′58.9″~24°44′48.8″N, 地势四周高, 中间低, 海拔最高为 647.2m, 最低为 272.0m, 最大相对高差 375.2m, 地形破碎, 坡度较陡, $\geq 25^\circ$ 的坡面占 62%。土壤为深色或棕色石灰土, 洼地基岩裸露面积占 15%, 土壤厚度 20~160cm, 坡地基岩裸露面积 $\geq 30\%$, 土层较薄, 一般为 10~50cm。多年平均气温为 19.9℃, 7 月份平均气温为 27.9℃, 1 月份平均气温 10.1℃, 极端温度分别为 38.7℃ 和 -5.2℃, 年平均 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温为 6300℃, 无霜期 329d。多年平均降雨量 1389.1mm, 4~8 月份为雨季, 降雨量占全年的 73.7%, 9 月至翌年 3 月份为旱季。年平均日照 1451.1h, 平均太阳总辐射量 413.8kJ/cm², 其中有效辐射量为 211.9kJ/cm²。整个地貌为低山丘陵, 位于中亚热带季风气候区, 属典型的桂西北喀斯特峰丛洼地。为保证样方调查的准确性和可比性, 野外调查限定在观测站内, 最远距离 $\leq 10\text{km}$ 。

2 研究方法

2.1 干扰方式与尺度界定

桂西北喀斯特地区的干扰方式很多, 其中人为干扰方式主要有 4 种: 采樵(含砍伐)、放牧、垦殖、火烧, 各种干扰方式之间相互渗透和叠加, 形成了各种以坡面为作用单位的干扰类型。通过走访当地居民和实地考察, 发现在 1984 年之前, 试验区共放养 290 头牛, 其中水牛 220 头, 黄牛 70 头, 水牛主要在下半坡觅食, 黄牛主要活动在上半坡, 为保证牛能吃到新鲜的嫩草, 每年均要放火烧山, 有的是整坡烧光, 有的侧重于上半坡(主要为黄牛提供草料), 又加上人为采樵(含砍伐)、垦殖等, 植被大面积退化为灌丛和草坡, 以坡面为尺度, 各式各样的干扰类型可界定为 4 类: I. 采樵(坡中下部) + 火烧(坡中上部), II. 采樵(坡中下部) + 火烧(坡中上部) + 放牧(整坡), III. 火烧(整坡) + 放牧(整坡), IV. 火烧(整坡) + 垦殖(整坡)。1985 年之后, 随着当地居民生活水平的提高和各种森林保护法规政策的相继出台, 加上试验站远离村庄, 耕作管理不便, 一直撂荒至现在, 期间的干扰较弱, 经过 22a 的恢复, 植被得到了不同程度的自然更新, 不过仅在悬崖陡峭处存在少量的喀斯特顶极群落片段(人类难以达到), 未能形成群落, 所以无干扰类型 V 选择在观测站所在的环江县木论自然保护区。

2.2 样地调查

2.2.1 植被调查

2007 年 4~5 月, 在中国科学院环江喀斯特农业生态系统观测研究站内, 选择立地条件基本一致的 I、II、III、IV 4 种不同干扰类型的坡面按上、中、下 3 个坡位设置样地(其中有 12 块固定标准地), 3 次重复, 共设置 36 个 10m × 10m 样方, 并在观测研究站所在的环江县木论自然保护区同时设置 3 个 10m × 10m 的样方作对照。乔木、灌木和草本样地的取样面积分别为 20m × 30m、10m × 10m 和 5m × 5m。每个乔木样地分为 10 个 6m × 10m 乔木样方, 在每个乔木样方内设置 1 个 5m × 5m 灌木样方和 1 个 1m × 1m 草本样方。每个灌木样地分为 4 个 5m × 5m 灌木样方和 1 个 1m × 1m 草本样方。每个草本样地按五点法设置 5 个 1m × 1m 草本样方。调查记录每个样方内乔、灌木及幼树种类、数量、胸径、地径、高度、冠幅和盖度; 草本植物调查其种类、数量、多度、平均高和盖度; 同时记录每个样方的地理位置、地形地貌、土壤特征、人为影响方式和强度、所属植被类型、总盖度等, 并用手持 GPS 进行定位。

2.2.2 生物量调查

草本层地上部和地下部生物量分别以全割法和全挖手捡法(1m × 1m)实测, 取样带回实验室于 80℃ 恒温烘至恒重, 称干重并计算生物量; 乔木和灌木的生物量采用标准木法进行分层切割, 分别求出树干、枝、叶、根桩和根的干重, 并根据样木建立相对生长关系式对地上部生物量进行验证:

$$W_{\text{乔木}} = 0.0699(D_{\text{胸径}}^2 H) 0.8037 \quad r = 0.8154^{**} \quad n = 21$$

$$W_{\text{灌木}} = 0.0463(D_{\text{地径}}^2 H) 0.0791 \quad r = 0.7860^{**} \quad n = 87$$

群落中地上部乔木层、灌木层生物量分别按上述回归式及相应的株数求得, 地下部生物量按标准木法测定; 枯枝落叶在草本层收割完之后采用手捡法(1m × 1m)实测。

2.3 物种多样性计算方法

多样性指数的计算方法详见文献^[15,16]。物种丰富度即样方中包含的所有植物种类数 $R_0 = S$; Shannon

Wiener 指数 $H' = -\sum P_i \cdot \ln P_i$, $P_i = N_i/N$, N_i 为样方中第 i 物种的个体数, N 为样方总个体数; Simpson 优势度指数 $D = 1/\sum (P_i)^2$; Pielou 均匀度指数 $J = H'/\ln S$; 研究数据使用 Excel 软件进行数据处理, 并运用 SPSS11.0 软件进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 干扰区植被自然恢复时的物种组成变化

3.1.1 干扰区植被的物种构成特征

野外调查统计结果表明, 目前干扰区共有维管束植物 91 科 206 属 241 种(含种下等级)。其中蕨类植物门有 15 科 19 种, 种子植物门裸子植物亚门 2 科 2 种, 被子植物亚门双子叶植物纲 63 科 173 种, 单子叶植物纲 11 科 47 种, 属种数量占优势的科为大戟科(18 种)、菊科(16 种)和禾本科(18 种), 每科 ≥ 5 种的有防己科(5 种)、蔷薇科(8 种)、碟形花科(7 种)、桑科(6 种)、鼠李科(5 种)、芸香科(5 种)、茜草科(5 种)、马鞭草科(6 种)、百合科(5 种)和莎草科(9 种), 以上 13 个科共计有 113 种, 占全部种数的 45.9%, 1 科 4 种的有樟科、楝科、紫金牛科、苦苣苔科和兰科, 1 科 3 种有 7 科, 1 科 2 种有 21 科, 其余的 45 科均为 1 科 1 属。依据植物生长型分类系统, 目前干扰区共有草本植物 107 种, 灌木 73 种, 藤本 29 种, 小乔木至乔木 32 种。常见的植物种类有圆叶乌桕(*Sapium rotundifolium*)、朴树(*Celtis tetrandrassp. sinensis*)、华南皂荚(*Gleditsia fera*)、石山榕(*Ficus virens var. sub lanceolata*)、榔榆(*Ulmus parvifolia*)、棠梨(*Pyrus betulaefolia*)、欆木(*Loropetalum chinense*)、菜豆树(*Radermachera sinica*)、广西巴豆(*Croton kangsiensis*)、黄荆(*Vitex negundo*)、小构树(*Broussonetia kazinok.*)、红背山麻杆(*Alchornea trewioides.*)、盐肤木(*Rhus chinensis*)、竹叶花椒(*Zanthoxylum armatum*)、八角枫(*Alangium chinensis*)、灰毛浆果楝(*Cipadessa cinerascens.*)、小果野桐(*Mallotus microcarpus*)、甜叶算盘子(*Glochidion philippicum*)、老虎筋(*Euphorbia milii*)、火棘(*Pyracantha fortuneana*)、冻绿(*Rhamnus utilis*)、金樱子(*Rosa laevigata*)、龙须藤(*Bauhinia championii*)、山葛藤(*Pueraria montana*)、白茅(*Imperata cylindrica*)、蔓生莠竹(*Microstegium vagans*)、斑茅(*Saccharum arundinaceum*)、臭蒿(*Artemisia hedinii*)、鬼针草(*Bidens parviflora*)、蕨菜(*Pteridium aquilinum*)、肾蕨(*Nephrolepis auriculata*)、芒萁(*Dicranopteris pedata*)、野古草(*Arundinella anomala*)等, 其中圆叶乌桕、华南皂荚、黄荆、小构树、红背山麻杆、盐肤木、竹叶花椒、八角枫、灰毛浆果楝、火棘、金樱子、白茅、蔓生莠竹、鬼针草、蕨菜等是干扰区植被各群落主要的建群种或共建种, 由于干扰强度大, 退化严重, 它们中的大部分均为阳性先锋物种。

3.1.2 干扰对物种组成的影响

干扰区的物种丧失严重, 虽然恢复了 22a, 但其物种数只有木论森林自然保护区 906 种的 26.6%, 且不同的干扰方式对物种组成的变化影响不同(见表 1)。火烧 + 垦殖干扰区, 在坡度较陡(35 ~ 50°)的情况下, 年年开垦, 导致水土流失严重, 土壤质量迅速下降, 初步形成了石漠化景观, 22a 弃耕之后, 物种组成非常单一, 只有干旱毛蕨(*Cyclosorus aridus*)、蔓生莠竹等 5 科 6 属 9 种草本零星分布, 恢复难度极大。采樵 + 火烧(坡中上部)干扰区共有 38 科 52 属 61 种, 虽然总数不是最多, 但乔木的种数达到了 13 种, 出现了圆叶乌桕、朴树、华南皂荚等建群乔木树种, 此外还有三脉叶荚蒾(*Viburnum triplinerve*)、朱砂根(*Ardisia crenata*)、大叶素馨(*Jasminum beesianum*)、红背葡萄(*Vitis sp.*)、锈叶龙须藤(*Bauhinia sp.*)等灌木和藤本。采樵 + 火烧(坡中上部) + 放牧区的恢复较好, 共有物种 41 科 53 属 65 种, 出现了菜豆树、石山榕、广西巴豆、圆叶乌桕、密榴木(*Miliusa chunii*)、棒柄花(*Cleidion brevipetiolatum*)、小果野桐、斜叶榕(*Ficus gibbosa*)、老虎筋、金刚藤(*Smilax china*)、锈叶龙须藤等乔灌木和藤本植物, 虽然灌木、藤本和草本的物种均多于无干扰区, 但物种总数仍少 9 种, 特别是乔木物种少了 28 种, 只有无干扰区的 24.3%。相对于 I、II 两种干扰区, 火烧(整坡) + 放牧的恢复较慢, 共有植物 36 科 49 属 54 种, 仅有香椿(*Toona sinensis*)、圆叶乌桕、小楝木(*Swida paucinervis*)等 6 种乔木幼苗, 灌木主要有火棘、黄荆、竹叶花椒等。总之从物种组成角度分析, 与自然保护区相比, 物种破坏和丧失现象严重, 其中火烧之后再反复进行垦殖导致了石漠化后果, 物种面临全部灭绝的危险, 在坡地特别是坡度 $\geq 25^\circ$ 以上的坡面应全面禁止; 火烧之后植物刚刚萌生, 叶嫩味鲜, 即刻放牧, 对植被恢复的破坏很大, 特别是牛

的觅食量大且践踏严重,植被恢复难;采樵的选择性和针对性强,主要是易燃物种,对其他的物种损害相对较少,又加上其过程缓慢,物种的适应性增强,植被的恢复较好,不放牧时恢复的速度更快。

表 1 不同干扰区物种组成统计表

Table 1 Statistics of plant species composition in different disturbance areas

干扰类型 Disturbance	乔木 Tree	灌木 Shrub	藤本 Liana	草本 Grass	总盖度 Coverage	科 Family	属 Genera	种 Species
I	13	17	14	17	0.8	38	52	61
II	9	16	19	21	0.9	41	53	65
III	6	12	11	25	0.7	36	49	54
IV	0	0	0	9	0	5	6	9
V	37	12	10	15	0.9	50	63	74

3.2 干扰区的群落类型

目前干扰区具有的 6 种植被类型的顺向演替系列为石漠化稀疏草丛→草丛→灌丛→藤刺灌丛→落叶阔叶林→常绿落叶阔叶林混交林片段。其中常绿落叶阔叶混交林残存于人为干扰难以达到的悬崖峭壁上,面积较少,且无法进行调查,因此顶极群落的调查样方选在木论喀斯特森林自然保护区。干扰影响了植物群落的重要特征——种类组成的变化,导致了群落类型的差异,以坡面为尺度,群落类型随干扰方式和环境梯度的变化而变化。由表 2 可看出,目前干扰区还没有产生顶极群落,除火烧+垦殖干扰区从坡脚到坡顶均为荒漠状的稀疏草丛之外,随着海拔的升高,坡位的上升,土层越来越浅薄,养分和水分越来越少,光照、温度越来越高,环境变得更加恶劣,群落类型产生了从高级到低级的垂直变化,不同干扰区除坡上均为草丛之外,坡中和坡下差异较大,其中采樵+(坡中上部)火烧干扰区从下至上分别为乔灌丛→藤刺灌丛→灌丛→草丛,采樵+火烧(坡中上部)+放牧的为:藤刺灌丛→灌丛→草丛,整坡火烧+放牧的为:灌丛→灌草丛→草丛。

表 2 干扰区的群落类型及其垂直变化

Table 2 The types of plant community and its vertical changes in disturbed area

类型 Types	坡位 Slope position	坡向 Slope aspect	海拔(m) Altitude	描述 Description	植被类型 Vegetation types
I	上 Upper	NW	347	草丛 Grass	蕨菜 <i>Pteridium aquilinum</i>
	中 Medium	NW	321	灌丛 Shrubs	火棘+黄荆 <i>Pyracantha fortuneana</i> + <i>Vitex negundo</i>
	下 Lower	NW	302	乔灌丛 Tree-shrubs	圆叶乌桕+华南皂荚+硬叶石豆兰 <i>Sapium rotundifolium</i> + <i>Gleditsia fera</i> + <i>Bulbophyllum</i>
II	上 Upper	NE	351	草丛 Grass	蔓生莠竹+臭蒿 <i>Microstegium vagans</i> + <i>Artemisia hedinii</i>
	中 Medium	NE	327	灌草丛 Shrub-grass	黄荆+斑茅 <i>Vitex negundo</i> + <i>Saccharum arundinaceum</i>
	下 Lower	NE	311	灌丛 Shrubs	黄荆+金樱子+臭蒿 <i>Vitex negundo</i> + <i>Rosa laevigata</i> + <i>Artemisia hedinii</i>
III	上 Upper	N	359	草丛 Grass	蕨菜+蔓生莠竹 <i>Pteridium aquilinum</i> + <i>Microstegium vagans</i>
	中 Medium	N	324	灌丛 Shrubs	八角枫+黄荆 <i>Alangium chinensis</i> + <i>Vitex negundo</i>
	下 Lower	N	302	藤刺灌丛 Liana-shrubs	老虎筋+小果野桐+紫麻 <i>Euphorbia milii</i> + <i>Mallotus microcarpus</i> + <i>Oreocnide frutescens</i>
IV	整坡 Whole	NW	289~343	石漠化 Rock	稀疏草本 sparse grass
V	中上 Upper	NE	716	顶极群落 Climax	青冈栎+南酸枣林 <i>Cyclobalanopsis glauca</i> + <i>Choerospondias axillaris</i>

3.3 干扰区的群落结构变化

干扰区的群落结构随干扰类型和坡位的变化而变化(见表 3),除火烧+垦殖干扰区坡脚至坡上没有形成群落,仅有零星分布的几棵草本(高度 0.02m,密度 3 株/m²)之外,Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ三类干扰区高度和盖度均随着坡位的上升而减少,这是立地环境劣变造成的,密度则呈现坡下<坡上<坡中的单峰分布状态,坡下过渡至坡中,个体减小,密度增加,坡中至坡上个体虽然更加变小,但因恶劣环境的限制造成密度下降。3 种类型干扰区的坡上部均为草丛,高度(0.58~0.66m)、密度(48.9~56.3 株/m²)和盖度(0.50~0.55),变化不大,坡中和坡下的变化较大,坡下群落高度的变化趋势为Ⅰ>Ⅱ>Ⅲ,密度的变化规律反之,盖度为Ⅱ>Ⅰ>Ⅲ,其中Ⅰ、Ⅱ类干扰区除乔木密度Ⅰ类明显高于Ⅱ类之外,其它方面比较相似,Ⅲ类干扰区群落高度急剧下降,分别只有Ⅰ和Ⅱ类的 28.7%和 31.1%,伴着个体的变小和草本数量的增加,密度迅速上升,分别是Ⅰ和Ⅱ类的 4.7 倍和 4.1 倍。坡中地区,高度、密度和盖度均呈Ⅰ>Ⅱ>Ⅲ类的趋势,其中Ⅲ类的乔灌木盖度因灌木的密度和个体急剧变小下降很快。由上可见,与无干扰区相比,各干扰区的群落结构均产生了不同程度的变化,远离无干扰区的大小顺序为Ⅳ>Ⅲ>Ⅱ>Ⅰ,表明除火烧之后反复垦殖导致石漠化之外,火烧之后反复放牧对群落结构的干扰也非常大,自然恢复相当缓慢,其它 2 类干扰区的恢复状态较好。

表 3 不同干扰区群落结构的变化

Table 3 Changes in plant community structure in different disturbance areas

类型 Types	坡下 Lower slope					坡下 Lower slope				
	高度 Height (m)	密度		盖度 Coverage		高度 Height (m)	密度		盖度 Coverage	
		Density (ind./m ²)					Density (ind./m ²)			
		乔木 Trees	群落 Community	乔灌层 T-shrubs	群落 Community		乔木 Trees	群落 Community	乔灌层 T-shrubs	群落 Community
I	4.74	0.34	15.4	0.75	0.8	1.21	0	64.9	0.7	0.75
II	4.38	0.1	17.8	0.85	0.9	1.17	0	59.3	0.7	0.75
III	2.05	0.03	42.4	0.55	0.7	0.92	0	58.1	0.35	0.55
IV	0.02	0	3	<0.01	<0.01	0.02	0	3	0	<0.01
V	11.56	0.24	9.31	0.85	0.9	8.32	0.63	13.90	0.85	0.9

3.4 干扰区的群落生物量变化

在人为干扰下,随着植被的减少,群落结构逐渐简单,服务功能丧失,土地生产力的表征指标——群落生物量减少,土地质量下降直至石漠化。干扰区的群落生物量(除Ⅳ类干扰几乎没有生物量之外),随着坡度的上升,群落生物量急剧下降,乔灌木的生物量减少,草本的生物量增加,不同干扰区坡上草丛的生物量基本一致(14.23~15.11t/hm²),坡中的差异也不大(18.39~21.40 t/hm²),本文着重以坡下为重点分析干扰对群落生物量的影响。由表 4 可知,在无干扰的木论自然保护区顶极群落的生物量高达 131.42 t/hm²,且 91.57% 为乔木层生物量,各器官的生物量分配均匀、合理,干扰区则不同,仅在采樵+火烧干扰区内有一个乔灌木群落——圆叶乌桕+华南皂荚+石山棕群落,由于圆叶乌桕的恢复时间不长,高度、密度、胸径和冠幅均不大,生物量仅为 68.76 t/hm²,只恢复到顶极群落的 55.56%,且 73.02% 为乔木层生物量,又加上圆叶乌桕是在反复砍伐之后萌生的次生林,地上部分个体不大,但地下部分根桩和根系发达,生物量大,竟占乔木层总生物量的 60.89%,生物量结构不合理,地上部分的增长潜力巨大,此外该群落的落叶树种比例较大,枯枝落叶的生物量最大,生物回归系数较高。在采樵+火烧+放牧干扰区,由于受放牧不断践踏的影响,诸如圆叶乌桕等乔木的根桩受到了毁灭性的摧毁而难以萌发,但藤刺灌木、灌木和各种藤本纵横交错,高度发达,密度大,郁闭度好,灌木的生长发育良好,各灌木对阳光竞争激烈,只在最上层才能看见一层叶片,基本无草本,其生物量比乔灌木丛还略高,达到了 89.40 t/hm²,灌木层生物量占 93.71%,其中灌木枝又占了灌木层生物量的 73.93%,而叶仅为 8.26%,和其他群落不同,枯枝落叶也主要以枯枝为主。在火烧+放牧干扰区,因放牧的不断干扰,严重影响了植被的自然恢复,只有一些以黄荆、盐肤木等为主的先锋灌木,生物量小,仅为 27.18 t/hm²,而草本层

的生物量较大,占总生物量的 31.5%,表示群落还远没有走向成熟。总之,和无干扰区相比,干扰区的生物量很小,恢复的潜力大,随着时间的推移,以圆叶乌桕为建群种的乔灌木将迅速达到和超过以老虎簕为主的藤刺灌木。

表 4 不同干扰区的群落生物量及其构成

Table 4 The biomass and composition of plant community in different disturbance areas

项目 Item		I		II		III		V	
		生物量 Biomass (t/hm ²)	百分率 Centage (%)	生物量 Biomass (t/hm ²)	百分率 Centage (%)	生物量 Biomass (t/hm ²)	百分率 Centage (%)	生物量 Biomass (t/hm ²)	百分率 Centage (%)
乔木层 Trees	干 Trunk	11.05	22.01	0	0	0	0	40.25	33.45
	枝 Branch	5.54	11.03	0	0	0	0	26.44	21.97
	叶 Leaf	3.05	6.07	0	0	0	0	18.57	15.43
	桩 Stake	22.96	45.73	0	0	0	0	26.17	21.75
	根 Root	7.61	15.16	0	0	0	0	8.91	7.4
	小计 Subtotal	50.21	73.02	0	0	0	0	120.34	91.57
灌木层 Shrubs	枝 Branch	3.48	61.56	61.94	73.93	11.76	68.25	2.31	56.9
	叶 Leaf	1.77	31.38	6.92	8.26	2.23	12.92	1.04	25.61
	根 Root	0.4	7.06	14.92	17.81	3.24	18.83	0.71	17.49
	小计 Subtotal	5.65	8.22	83.78	93.71	17.23	63.39	4.06	3.09
草本层 Grass	草 Grass	6.41	85.2	0.2	31.75	7.12	83.18	0.47	58.75
	根 Root	1.11	14.8	0.43	68.25	1.44	16.82	0.33	41.25
	小计 Subtotal	7.52	10.94	0.63	0.71	8.56	31.5	0.8	0.61
枯枝落叶 Litter		5.38	7.84	4.99	5.58	1.39	5.11	6.22	4.73
总计 Total		68.76	100	89.4	100	27.18	100	131.42	100

3.5 干扰区的物种多样性分析

生物多样性是生态系统持续发展和生产力的核心,能很好地反映群落的组织结构变化^[17,18,19],干扰区的物种多样性随着坡位的上升而发生了梯度变化,坡中和坡上各干扰区的物种多样性非常相似。即使是在各干扰区的最高恢复阶段(坡下),由于恢复的时间较短,除火烧+垦殖干扰区之外,差别也不大(见表5)。火烧+垦殖干扰区接近了石漠化阶段,生境条件十分恶劣,生态优势度很低,但由于喀斯特地区优越的水热条件,丰富的植物区系和地理成分,为物种复杂化提供了基础,物种仍达9种,表明即使是石漠化地区植被仍有恢复的可能性。其他干扰区因自然恢复的时间不长,多样性指数和均匀度非常相似,种类以藤刺灌木为主的采樵+火烧+放牧干扰区较多,采樵+火烧干扰区内圆叶乌桕正在开始形成次生乔林,生态优势度略高。与无干扰区相比,种类和物种多样性丧失严重,均匀度虽然较高,但还没有完全形成建群种,生态优势度低,发展和恢复的空间很大,人类应进行合理干扰促进其向顶极群落演替。

表 5 不同干扰区群落多样性变化

Table 5 Changes in plant community diversity index in different disturbance areas

项目 Item	I	II	III	IV	V
种类 Species number	34	39	27	9	46
香农指数 Shannon-Winner index	3.82	3.84	3.81	0.72	4.13
均匀度 Evenness	0.8	0.81	0.86	0.84	0.77
生态优势度 Simpson index	0.18	0.1	0.11	0.05	0.23

4 讨论

4.1 喀斯特地区干扰与植被的关系

有关于干扰对植被影响的假说很多,其中中度干扰假说占着重要地位^[20,21],各种假说之间相互矛盾甚至完

全对立^[22,23],但在最大丰富度出现在中度强度或频率的干扰水平上非常一致^[24]。喀斯特地区的特殊性要求在应用这些干扰理论时必须慎重。首先喀斯特生态系统具有天生的脆弱性,敏感性强,它对干扰的反应迅速而剧烈,系统的稳定性很差,稍加干扰极易退化。其次,干扰以去除物种为目的,喀斯特地区特别是保护较好的原始森林区,植被大都生长在巨大的石灰岩石块上、缝隙中或环境恶劣区,去除容易,若想重新进行繁殖和恢复,全靠人力难以实现,主要依靠漫长的自然恢复过程。最后,在人为干扰下,喀斯特的石漠化过程和植物群落退化具有正反馈机制上的互动性、方向上的一致性和速度上的不同步性、非线性,即人为干扰时,植被逐渐消失,土地生态因子恶化,水赋存的二元结构被破坏,碳酸盐岩强烈的渗漏性使地表水迅速转入地下水,浅薄的土壤物质被冲刷殆尽,环境容量和生产力下降,干旱化速度加快。植被在环境发生较大退化后也再次发生重大退化,逐步被小灌木和草本所替代,植被服务功能丧失,土壤进一步退化直至石漠化。另外,即使在一定的条件下,植被仍具有自我恢复能力,但碳酸盐岩成土速度极慢,土层瘠薄,形成 1cm 土壤需 2000 ~ 3000a^[25],一旦流失,极难恢复,植被赖以生长的基础遭到破坏,更新与生长必然受到重大影响。总之,喀斯特地区的植被演替主要是一种纯自然的演替过程,在无干扰和植被保护较好的地区不应进行任何程度和方式的干扰,让其自然演替,在已受干扰的地区,应科学利用干扰理论促进植被的恢复。

4.2 干扰对物种多样性及其环境梯度变化的影响

干扰分自然干扰和人为干扰,自然干扰难以控制,人为干扰的方式很多,各种干扰之间具有协同性、叠加性和连锁性。桂西北喀斯特地区的主要干扰类型有采樵(含砍伐)、火烧、放牧和垦殖 4 种。通过在中国科学院环江喀斯特农业生态系统研究观测站的典型干扰区进行样方调查分析,表明 4 种干扰区内的植被构成特征、群落类型、群落结构、群落生物量和物种多样在着不同程度的差异,其中火烧 + 垦殖干扰区的植被破坏严重,只有少量的不足 20cm 高度的小草零星分布,土地初步出现石漠化景观,自然恢复的难度很大,但残存有 9 种草本植物,辅以人工措施仍可望实现植被恢复。采樵 + 火烧干扰区的恢复情况良好,在坡下初步形成了以圆叶乌桕为建群种的乔灌群落,群落的高度、乔木种类和密度是各干扰区之中最好的,采取必要的森林抚育措施会加快向顶极群落的演替速度。采樵 + 火烧 + 放牧干扰区的坡脚地带也形成了以老虎簕为主的藤刺灌丛,物种丰富度和多样性指数最好,高度也达到了 4.38m,林分郁闭度好,林内湿度大,有利于耐荫植物的生长,但干扰区除采樵和牲畜觅食适口性植物等选择性干扰外,牛具有很大的践踏力,这种践踏干扰反复进行且毫无选择性,对植被的破坏性很大,一些乔木在被砍伐之后,其根桩也被践踏致死,难以形成乔灌丛,若通过人为引进一些耐荫乔木繁殖体,该群落能迅速发展为乔林群落。火烧 + 放牧干扰于火烧之后,在植物刚萌发的火烧迹地进行放牧,如此年复一年的破坏,形成了以黄荆为建群种的灌草丛群落,物种组成单一,结构简单,生物量低,物种多样性丧失严重,22a 自然恢复之后仍呈灌草状态,但土地质量还没有完全退化,引入繁殖体后也能很快促进植被恢复。总之,和自然保护区相比,干扰区自然恢复 22a 后立地条件较好的坡下植被恢复都还没达到顶极群落的 40%,随坡位的上升,立地条件和生态条件越来越差,群落仍处于灌草丛(坡中)和草丛(坡上)状况,且不同的干扰破坏性不同,其中采樵属选择性干扰,且均发生在立地条件较好的坡中下部,恢复比较容易,放牧对植被的破坏具有选择和非选择双重性,破坏性比采樵干扰大,火烧除事故原因外,其目的是垦殖和放牧,破坏性更大,特别是火烧之后垦殖是造成喀斯特石漠化的重要干扰类型,在坡度 $\geq 25^\circ$ 以上应坚决杜绝,在坡度 $\leq 25^\circ$ 、土壤质量较差的地带也要尽量避免。

4.3 喀斯特干扰区植被的恢复过程

中亚热带原生性喀斯特森林的顶极群落为常绿落叶阔叶混交林,目前仅存于茂兰、木论等少数保护区,具有十分明显的年龄结构和复杂结构,处于相对稳定阶段。而广大的喀斯特地区,因人口增长导致人地矛盾突出,原生的植被遭到了大面积的破坏,持续的时间长(20 世纪 40 年代至 80 年代),小气候环境及土壤产生了剧烈的劣变,生境干旱化突出,又加上喀斯特地形地貌特殊,一旦破坏,恢复和发展的难度相当大,大部分植被处在逆向演替系列中的灌草丛、草丛阶段,且植被的变化缓慢,持续时间较长,虽然随着喀斯特地区经济水平的提高、能源问题不断合理解决和各种森林法规的实施,20 世纪 80 年代中期大面积此类的植被均处于自然

抛荒状态,人为干扰不大,但直至现在,这种灌草丛、草丛还基本维持现状,只有极个别立地条件优越的地方发展到了乔灌群落,必须辅以人工促进更新,才能促进植被的恢复。喻理飞等人通过对茂兰等自然保护区的研究,认为喀斯特地区植被的演替序列为石漠化→草丛→草灌丛→灌丛→灌乔→常绿落叶阔叶林→顶极群落,可是群落的演替与物种本身的繁殖策略、土壤生态因子、气候因子、群落内部小环境和干扰等方面关系密切,其演替系列随条件的变化而变化,从人类的愿望出发,群落演替的速度越快、时间越短越好,综合考虑喀斯特干扰区的实际情况,通过人工促进,加速植被恢复的途径可归纳为 4 条:

(1) 立地条件优越地方 草丛→常绿落叶阔叶林→顶极群落

(2) 立地条件较好的地方 草丛→灌丛→常绿落叶阔叶林→顶极群落

(3) 立地条件较差的地方 草丛→草灌丛→灌丛→常绿落叶阔叶林→顶极群落

(4) 出现石漠化景观的地方 石漠化→草丛→草灌丛→灌丛→灌乔林→常绿落叶阔叶林→顶极群落

References:

- [1] Pickett S T A, White P S. The ecology of natural disturbance and patch dynamics. London: Academic Press, 1985.
- [2] Liu Z M, Zhao X Y, Liu X M. Relationship between disturbance and vegetation. *Acta Prataculturae Sinica*, 2002, 11(4): 1—9.
- [3] Zhang D F, Wang S J, Zhou D Q, *et al.* Intrinsic driving mechanism of land rocky desertification in Karst regions of Guizhou Province. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2001, 21(4): 1—5.
- [4] Ding C, Shen F. Formation mechanism and distribution of karst physiognomy in China. *Journal of Tangshan Teachers College*, 2003, 25(5): 72—73.
- [5] Zhou Y Y, Jiang Z C, Wei Z L. Rational study on the drought and the cause of drought in central Guangxi Karst agricultural area. *Carsologica Sinica*, 2003, 22(2): 144—149.
- [6] Zhao Z Q, Hou L S, Cai Y L. The process and mechanism of soil degradation in Karst area in southwest China. *Earth Science Frontiers*, 2006, 13(3): 185—189.
- [7] He T B. Status of soil and water loss and counter measures of ecological agriculture construction in Guizhou Karst mountainous region. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000, 14(5): 28—34.
- [8] Li H Y, Ju M T. Principles and practices of ecological restoration. Beijing: Chemical Industry Press, 2004. 1—61.
- [9] Wang D L, Zhu S Q, Huang B L. Preliminary study on types and quantitative assessment of Karst rocky desertification in Guizhou Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(5): 1057—1063.
- [10] Liu F, Wang S J, Liu Y S, *et al.* Changes of soil quality in the process of Karst rocky desertification and evaluation of impact on ecological environment. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 639—644.
- [11] John G, Sarah C, Michelle G, *et al.* Human impact on the Cuilcagh Karst, Ireland. In: Sauro U., Bondesan, A., Meneghel, M., eds. *Proceedings of the international conference on environmental changes in Karst area*. Italy: Universita di Padova, 1991. 405.
- [12] Yu L F, Zhu S Q, Ye J Z. Dynamics of a degraded karst forest in the process of natural restoration. *Scientia Silvae Sinicae*, 2002, 38(1): 1—7.
- [13] Liu Y L, Xue J H. Quantitative properties of degraded karst forest communities in Maolan Mountain area of Guizhou. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition)*, 2005, 29(3): 23—27.
- [14] Liu F, Wang S J, Luo H B, *et al.* Vegetation succession with karst rocky desertification and its impact on water chemical of run off. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(1): 26—32.
- [15] Ma K P, Huang J H, Yu S L, *et al.* Plant community diversity in Dongling Mountain Beijing, China: species richness, evenness and species diversity. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15(3): 268—277.
- [16] Yu S Q, Jiang C Q, Li C H, *et al.* The effects of human disturbance on species diversity of *Phyllostachys praeco* grove. *Forest Research*, 2003, 16(2): 196—202.
- [17] Shen Q, Zhang J, Zhu J R, *et al.* Changes of species composition and diversity in the restoration processes of ecological public-welfare forests in Zhejiang, East China. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(9): 2131—2138.
- [18] Wang Y J, Tan J P, Zhang W Y, *et al.* Dynamics of species diversity in vegetation restoration on Tudiling of Mao County, Southwest China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4): 1028—1036.
- [19] Yu L Z, Zhu J J, Kong X W, *et al.* The effects of anthropogenic disturbances (thinning) on plant species diversity of *Pinus koreansis* plantations. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(11): 3757—3764.
- [20] Connell J H. Diversity in tropical rain forest and coral reefs. *Science*, 1978, 199: 1302—1310.

- [21] Huston M A. General hypothesis of diversity. *American Naturalist*, 1979, 113: 81—101.
- [22] Fulbright T E. Disturbance effects on species richness of herbaceous plants in a semi-arid habit. *Journal of arid Environment*, 2003, 58: 119—133.
- [23] Schwillk D W, Keeley J E, Bond W J. The intermediate disturbance hypothesis does not explain fire and diversity pattern in fynbos. *Plant Ecology*, 1997, 132: 77—84.
- [24] Petraitis P S, Latham R E, Niesenbaum R A. The maintenance of species diversity by disturbance. *The Quarterly Review of Biology*, 1989, 64(4): 393—418.
- [25] Wang K L. Coordinated development tactics of agriculture and environment in ecological vulnerable regions. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2001, 9(2): 86—88.

参考文献:

- [2] 刘志民,赵晓英,刘新民. 干扰与植被的关系. *草业学报*, 2002, 11(4): 1~9.
- [3] 张殿发,王世杰,周德全,等. 贵州省喀斯特地区土地石漠化的内动力作用机制. *水土保持通报*, 2001, 21(4): 1~5.
- [4] 丁晨,沈方. 中国喀斯特地貌的形成机制及分布. *唐山师范学院学报*, 2003, 25(5): 72~73.
- [5] 周游游,蒋忠诚,韦珍莲. 广西中部喀斯特干旱农业区的干旱程度及干旱成因分析. *中国岩溶*, 2003, 22(2): 144~149.
- [6] 赵中秋,后立胜,蔡运龙. 西南喀斯特地区土壤退化过程与机理探讨. *地学前缘*, 2006, 16(3): 185~189.
- [7] 何腾兵. 贵州喀斯特山区水土流失状况及生态农业建设途径探讨. *水土保持学报*, 2000, 14(5): 28~34.
- [8] 李洪远,鞠美庭. 生态恢复的原理与实践. 北京: 化学工业出版社, 2004. 1~61.
- [9] 王德炉,朱守谦,黄宝龙. 贵州喀斯特石漠化类型及程度评价. *生态学报*, 2005, 25(5): 1057~1063.
- [10] 刘方,王世杰,刘元生,等. 喀斯特石漠化过程土壤质量变化及生态环境影响评价. *生态学报*, 2005, 25(3): 639~644.
- [12] 喻理飞,朱守谦,叶镜中. 退化喀斯特森林自然恢复过程中群落动态研究. *林业科学*, 2002, 38(1): 1~7.
- [13] 刘映良,薛建辉. 贵州茂兰退化喀斯特森林群落数量特征. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2005, 29(3): 23~27.
- [14] 刘方,王世杰,罗海波,等. 喀斯特石漠化过程中植被演替及其对径流水化学的影响. *土壤学报*, 2006, 43(1): 26~32.
- [15] 马克平,黄建辉,于顺利,等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 II. 丰富度、均匀度和物种多样性研究. *生态学报*, 1995, 15(3): 268~277.
- [16] 于树全,姜春前,李翠环,等. 人为经营干扰对人工雷竹林下植被多样性的影响. *林业科学研究*, 2003, 16(2): 196~202.
- [17] 沈琪,张骏,朱锦茹,等. 浙江省生态公益林植被恢复过程中物种组成及多样性的变化. *生态学报*, 2005, 25(9): 2131~2138.
- [18] 王永健,陶建平,张伟银,等. 茂县土地岭植被恢复过程中物种多样性动态特征. *生态学报*, 2006, 26(4): 1028~1036.
- [19] 于立忠,朱教君,孔祥文,等. 人为干扰(间伐)对红松人工林林下植物多样性的影响. *生态学报*, 2006, 26(11): 3757~3764.
- [25] 王克林. 生态脆弱区域农业与环境协调发展策略. *中国生态农业学报*, 2001, 9(2): 86~88.